



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 20 606 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**G 01 N 11/04**

⑳ Aktenzeichen: 100 20 606.9  
㉔ Anmeldetag: 27. 4. 2000  
㉕ Offenlegungstag: 31. 10. 2001

㉑ Anmelder:  
Endress + Hauser Flowtec AG, Reinach,  
Basel-Landschaft, CH  
  
㉒ Vertreter:  
Andres, A., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 69214 Eppelheim

㉓ Erfinder:  
Matt, Christian, Aesch, CH; Wenger, Alfred, Dr.,  
Neftenbach, CH; Fuchs, Michael, 79427 Eschbach,  
DE; Drahm, Wolfgang, Dr., 85435 Erding, DE

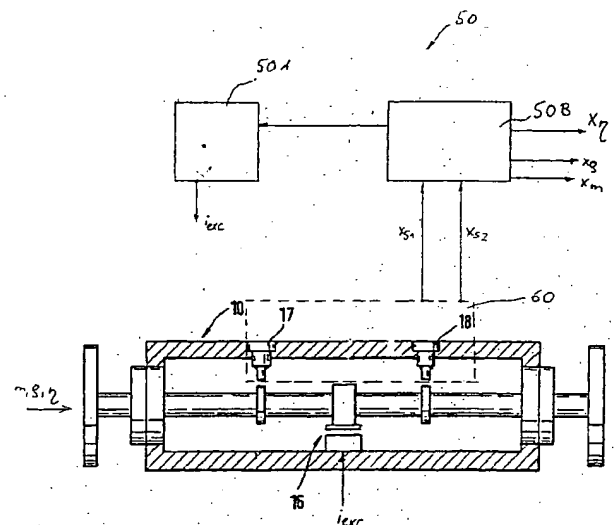
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE	41 24 296 A1
US	60 06 609 A
US	56 61 232 A
EP	06 31 662 B1
EP	08 67 694 A1
WO	94 14 047 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Vibrations-Meßgerät und Verfahren zum Messen einer Viskosität eines Fluids

⑤⑦ Es wird ein Vibrations-Meßgerät sowie ein Verfahren zum Messen einer Viskosität eines in einer Rohrleitung geführten Fluids vorgeschlagen. Das Vibrations-Meßgerät umfaßt eine Meßgeräte-Elektronik (50) sowie einen Meßwerteaufnehmer (10) mit einer elektromechanischen Erregeranordnung (16) und mit einem im Betrieb oszillierenden Meßrohr (13). Eine Sensoranordnung (60) erzeugt einlaßseitige und auslaßseitige Auslenkungen des Meßrohrs (13) repräsentierende Sensorsignale ( $x_{s1}$ ), ( $x_{s2}$ ). Eine Auswerteschaltung (50B) wandelt diese Sensorsignale ( $x_{s1}$ ), ( $x_{s2}$ ) mittels eines von einer Erregerschaltung (50A) erzeugten Erregerstroms ( $i_{exc}$ ) für die Erregeranordnung (16) in einen die Viskosität des Fluids repräsentierenden Viskositäts-Meßwert ( $x_\eta$ ).



DE 100 20 606 A 1

DE 100 20 606 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen einer Viskosität eines in einer Rohrleitung geführten Fluids sowie ein entsprechendes Vibrations-Meßgerät. Ferner betrifft die Erfindung die Verwendung eines Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemeßgerätes zum Messen der Viskositäten des Fluids.

[0002] Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemeßgeräte werden bevorzugt zum hochgenauen Messen eines Massedurchflusses und/oder einer Dichte eines in einer Rohrleitung geführten Fluids bevorzugt eingesetzt.

[0003] Ein Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemeßgerät ist bekanntlich ein Vibrations-Meßgerät, das mindestens ein in eine Rohrleitung fluiddicht, insb. druckdicht, eingefügtes Meßrohr zum Führen des Fluids aufweist, welches Meßrohr im Meßbetrieb mit wenigstens einer Frequenz multi-modal, insb. bi-modal, um eine Ruhelage oszilliert. Das Meßrohr wird dazu mittels einer elektromechanischen Erregeranordnung üblicherweise auf einem ersten Schwingungsmodus derart erregt, daß Corioliskräften im strömenden Fluid erzeugt werden. Bei einem geraden Meßrohr kann als erster Schwingungsmodus z. B. ein Grundswingungsmodus eines zweiseitig fest eingespannten Biegehalkens dienen, der bekanntlich einen einzigen Schwingungsbauch aufweist. Bei einem, insb. U- oder  $\Omega$ -förmig, vorgebogenen Meßrohr wird als erster Schwingungsmodus üblicherweise ein Grundswingungsmodus eines einseitig eingespannten Balkens, angeregt.

[0004] Bei derartigen Vibrations-Meßgeräten wird aufgrund der mittels des ersten Schwingungsmodus im strömenden Fluid bewirkten Corioliskräfte gleichzeitig ein zweiter Schwingungsmodus angeregt, dessen Amplitude vom Massedurchfluß abhängig ist.

[0005] Zum Ermitteln des Massedurchflusses werden eine Schwingung des Meßrohrs an einem einlaßseitigen Ende und eine Schwingung des Meßrohrs an einem auslaßseitigen Ende mittels einer entsprechenden Sensoranordnung erfaßt und in ein die einlaßseitigen Schwingungen repräsentierendes erstes und ein die auslaßseitigen Schwingungen repräsentierendes zweites Sensorsignal umgewandelt.

[0006] Die beiden erfaßten Schwingungen weisen aufgrund des dem ersten Schwingungsmodus überlagerten zweiten Schwingungsmodus eine gegenseitige Phasenverschiebung auf. Diese Phasenverschiebung, die in entsprechender Weise auch zwischen den beiden Sensorsignalen meßbar ist, dient bei Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemeßgeräten als ein den Massedurchfluß repräsentierende Meßgröße.

[0007] Bei Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemeßgeräten ist eine Resonanzfrequenz und/oder die Amplitude ersten Schwingungsmodus üblicherweise meßbar von der Dichte des Fluids abhängig. Somit ist z. B. für den Fall, daß das Meßrohr stets auf der Resonanzfrequenz des ersten Schwingungsmodus erregt wird, diese ein Maß für die momentane Dichte des Fluids.

[0008] Vibrations-Meßgeräte der beschriebenen Art gehören seit langem zum Stand der Technik. So ist z. B. bereits in den US-A 41 87 721, US-A 48 76 879, US-A 56 48 616, US-A 56 87 100, US-A 57 96 011, US-A 60 06 609 jeweils ein Vibrations-Meßgerät zum Messen eines Massedurchflusses und einer Dichte eines in einer Rohrleitung geführten Fluids beschrieben, welches Vibrations-Meßgerät umfaßt:

- einen Meßwerteaufnehmer
- mit mindestens einem in die Rohrleitung eingefügtem Meßrohr,
- das an einem Einlaßende und an einem Auslaßende schwingfähig eingespannt ist und
- das im Betrieb mit einer einstellbaren Erregerfrequenz relativ zu einer Ruhelage oszilliert,
- mit einer elektromechanischen Erregeranordnung zum gleichzeitigen Erzeugen räumlicher Auslenkungen und elastischer Verformungen des Meßrohrs sowie
- mit einer auf laterale Auslenkungen des Meßrohrs reagierenden Sensoranordnung zum Erzeugen eines eine einlaßseitige Auslenkung des Meßrohrs repräsentierenden ersten Sensorsignals und
- zum Erzeugen eines eine auslaßseitige Auslenkung des Meßrohrs repräsentierenden zweiten Sensorsignals, sowie
- eine Meßgeräte-Elektronik
- mit einer Erregerschaltung, die einen die Erregeranordnung speisenden Erregerstrom erzeugt, und
- mit einer Auswerteschaltung, die mittels des ersten Sensorsignals und mittels des zweiten Sensorsignals einen Massedurchfluß des Fluids repräsentierenden Massedurchflußwert und einen eine Dichte des Fluids repräsentierenden Dichtemeßwert liefert.

[0009] Ein für die Beschreibung eines strömenden Fluids weiterer wichtiger physikalischer Parameter ist die Viskosität, wobei bekanntlich zwischen einer kinematischen und einer dynamischen unterschieden werden kann.

[0010] Viskositäts- und dichtemessende Vibrations-Meßgeräte für strömende Fluide gehören gleichfalls zum Stand der Technik. So ist z. B. in der US-A 45 24 610 ein Viskositäts-/Dichtemeßgerät für ein strömendes Fluid beschrieben, das ein im Betrieb bi-modal oszillierendes Meßrohr aufweist. Bei diesem Viskositäts-/Dichtemeßgerät oszilliert das Meßrohr entweder abwechselnd im oben erwähnten ersten Schwingungsmodus zur Ermittlung der Dichte oder in einem Torsions-Schwingungsmodus zur Ermittlung der Viskosität oder aber simultan in beiden Schwingungsmoden jedoch mit unterschiedlichen Frequenzen. Aufgrund dieser vom Meßrohr ausgeführten Torsionsschwingungen werden im Fluid Scherkräfte verursacht, die den Torsionsschwingungen wiederum dämpfend entgegenwirken. Ferner ist in der US-A 45 24 610 beschrieben, daß der für die Aufrechterhaltung der Schwingungen des Meßrohrs, insb. dessen Torsionsschwingungen, erforderliche Erregerstrom als ein Maß für die Viskosität dienen kann.

[0011] In der US-A 53 59 881 ist des weiteren ein Verfahren zur Messung der Viskosität eines strömenden Fluids beschrieben, bei dem zur Ermittlung des Massedurchflusses ein Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemeßgerät verwendet wird und bei dem zur Bestimmung der Viskosität zusätzlich eine Druckdifferenz im strömenden Fluid entlang der Strömungsrichtung erfaßt wird.

[0012] Ferner sind in der US-A 52 53 533 und der US-A 60 06 609 Coriolis-Massedurchfluß-/Dichteaufnehmer beschrieben, mittels denen zusätzlich zum Massedurchfluß und/oder zur Dichte auch eine Viskosität des Fluids erfaßt wer-

den kann. Diese Coriolis-Massedurchfluß-/Dichteaufnehmer weisen jeweils ein gerades Meßrohr auf, das im Meßbetrieb simultan zum jeweils ersten Schwingungsmode ebenfalls in einem Torsions-Schwingungsmode oszilliert und dadurch zumindest abschnittsweise Torsionsschwingungen um eine Meßrohrängsachse ausführt.

[0013] Es hat sich jedoch gezeigt, daß die bisher im Betrieb von Coriolis-Massendurchflußmessern praktisch nur zum Zwecke der Kompensation der primären Meßwerte, nämlich einem Massedurchflußmeßwert und einem Dichtemeßwert, ermittelten Viskositäten für eine Ausgabe als ein zusätzlicher Viskositätsmeßwert zu ungenau bestimmt wurden.

[0014] Eine Aufgabe der Erfindung besteht daher darin ein Vibrations-Meßgerät zum Messen einer Viskosität eines in einer Rohrleitung geführten Fluids anzugeben, das außerdem zum, insb. simultanen, Messen eines Massedurchflusses und einer Dichte des Fluids geeignet ist. Ferner besteht die Erfindung in einem Verfahren, das der Erhöhung der Genauigkeit der Viskositätsmessung mittels Coriolis-Massendurchfluß-/Dichtemeßgeräten dient.

[0015] Zur Lösung der Aufgabe besteht die Erfindung in einem Vibrations-Meßgerät zum Messen einer Viskosität eines in einer Rohrleitung geführten Fluids, welches Vibrations-Meßgerät umfaßt:

- einen Meßwerteaufnehmer
- mit mindestens einem in die Rohrleitung eingefügtem Meßrohr, das
- ein das Fluid führende Meßrohrumen aufweist und
- an einem Einlaßende sowie an einem Auslaßende schwingfähig eingespannt ist,
- mit einer elektromechanische Erregeranordnung zum Erzeugen räumlicher Auslenkungen des Meßrohrs sowie
- mit einer auf laterale Auslenkungen des Meßrohrs reagierenden Sensoranordnung
- zum Erzeugen eines eine einlaßseitige Auslenkung des Meßrohrs repräsentierenden ersten Sensorsignals und
- zum Erzeugen eines eine auslaßseitige Auslenkung des Meßrohrs repräsentierenden zweiten Sensorsignals,
- wobei im Betrieb das Meßrohr zum Erzeugen viskoser Reibungen im Fluid mit einer einstellbaren Erregerfrequenz relativ zu einer Ruhelage oszilliert,
- sowie
- eine Meßgeräte-Elektronik
- mit einer Erregerschaltung, die einen die Erregeranordnung speisenden Erregerstrom erzeugt, und
- mit einer Auswerteschaltung,
- die mittels des Erregerstrom einen die viskose Reibungen im Fluid repräsentierenden Reibungsmeßwert erzeugt
- die mittels des ersten Sensorsignals und/oder mittels des zweiten Sensorsignals sowie mittels des Reibungsmeßwertes einen die Viskosität des Fluids repräsentierenden Viskositäts-Meßwert liefert.

[0016] Ferner besteht die Erfindung in einem Verfahren zum Messen einer Viskosität eines in einer Rohrleitung geführten Fluids mittels eines Vibrations-Meßgerätes, das umfaßt:

- einen Meßwerteaufnehmer
- mit mindestens einem in die Rohrleitung eingefügtem Meßrohr, das im Betrieb mit einer einstellbaren Erregerfrequenz relativ zu einer Ruhelage oszilliert,
- mit einer elektromechanische Erregeranordnung zum Erzeugen räumlicher Auslenkungen des Meßrohrs und
- mit einer auf laterale Auslenkungen des Meßrohrs reagierenden Sensoranordnung zum Erfassen einer einlaßseitigen und einer auslaßseitigen Auslenkung des Meßrohrs, sowie
- eine Meßgeräte-Elektronik
- mit einer Erregerschaltung, die einen die Erregeranordnung speisenden Erregerstrom erzeugt, und
- mit einer Auswerteschaltung,
- wobei das Vibrations-Meßgerät im Betrieb einen eine Dichte des Fluids repräsentierenden Dichte-Meßwert und einen die Erregerfrequenz repräsentierenden Erregerfrequenz-Meßwert liefert,

welches Verfahren folgende Schritte umfaßt:

- Erzeugen von Schwingungen des Meßrohrs mit der Erregerfrequenz zum Erzeugen viskoser Reibung im Fluid,
- Erfassen eines die Erregeranordnung durchfließenden Erregerstroms zum Erzeugen eines die viskose Reibung repräsentierenden Reibungsmeßwert,
- Erfassen einer einlaßseitigen und/oder einer auslaßseitigen Auslenkung des Meßrohrs zum Erzeugen eines Geschwindigkeitsmeßwertes, der eine Geschwindigkeit einer die viskose Reibung bewirkenden Bewegung des Fluids repräsentiert,
- Dividieren des Reibungsmeßwertes durch den zweiten Meßwert zum Erzeugen eines eine von der viskosen Reibung bewirkte Dämpfung des oszillierenden Meßrohrs repräsentierenden Quotientenwertes,
- Erzeugen eines von einer Dichte des Fluids und von der Erregerfrequenz abhängigen Korrekturwertes mittels des Dichte-Meßwertes und mittels des Erregerfrequenz-Meßwertes und
- Dividieren des Quotientenwertes durch den Korrekturwert zum Erzeugen eines die Viskosität repräsentierenden Viskositäts-Meßwertes.

[0017] Nach einer bevorzugten ersten Ausgestaltung des Vibrations-Meßgerätes der Erfindung erzeugt die Auswerteschaltung mittels des ersten Sensorsignals und/oder mittels des zweiten Sensorsignals einen Schätzwert für eine Geschwindigkeit einer die viskose Reibung verursachenden Bewegung des Fluids.

[0018] Nach einer bevorzugten zweiten Ausgestaltung des Vibrations-Meßgerätes der Erfindung erzeugt die Auswerteschaltung mittels des Reibungswertes und mittels des Schätzwert einen Quotientenwert, der eine von der viskosen Reibung bewirkte Dämpfung des oszillierenden Meßrohrs repräsentiert.

[0019] Nach einer bevorzugten dritten Ausgestaltung des Vibrations-Meßgerätes der Erfindung werden im Meßrohr

(13) aufgrund seiner räumlichen Auslenkungen elastische Verformungen des Meßrohrlumens (13A) bewirkt.

[0020] Nach einer bevorzugten vierten Ausgestaltung des Vibrations-Meßgerätes der Erfindung werden im Meßrohr (13) aufgrund seiner räumlichen Auslenkungen torsionale Verdrehungen um eine Meßrohr-Längsachse (13B) bewirkt.

[0021] Ein Grundgedanke der Erfindung besteht darin, die Viskosität vom gemessenen Erregerstrom und von einer im Betrieb von derartigen Vibrations-Meßgeräten der beschriebenen Art, insb. von Coriolis-Massedurchfluß/Dichte-Meßgeräten, stets gemessenen Geschwindigkeit der lateralen Auslenkung des Meßrohrs, insb. von den zur Massedurchflußmessung einlaßseitig und/oder auslaßseitig erfaßten Schwingungen, abzuleiten.

[0022] Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, daß zur deren Realisierung herkömmliche Coriolis-Massedurchfluß/Dichteaufnehmer der beschriebenen Art verwendet werden können, ohne an diesen selbst Veränderungen hinsichtlich des mechanischen Aufbaus vornehmen zu müssen. Somit kann eine Implementierung z. B. auch in bereits im Einsatz befindliche Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemeßgeräte erfolgen.

[0023] Nachfolgend soll die Erfindung und weitere Vorteile anhand von Ausführungsbeispielen sowie anhand der Figuren der Zeichnung näher erläutert werden.

[0024] Fig. 1 zeigt schematisch ein Vibrations-Meßgerät für ein strömendes Fluid.

[0025] Fig. 2 zeigt perspektivisch in einer ersten Seitenansicht ein Ausführungsbeispiel für einen Meßwerteaufnehmer des Vibrations-Meßgerätes gemäß Fig. 1 und

[0026] Fig. 3 zeigt perspektivisch in einer zweiten Seitenansicht den Meßwerteaufnehmer gemäß Fig. 2.

[0027] Fig. 4 zeigt perspektivisch in einen vergrößerten Ausschnitt des Meßwerteaufnehmers gemäß Fig. 2.

[0028] In der Fig. 1 ist ein schematisch ein Vibrations-Meßgerät dargestellt, das dazu dient eine Viskosität  $\eta$  sowie eine Dichte  $\rho$  eines in einer nicht dargestellten Rohrleitung geführten Fluids, insb. simultan, zu ermitteln und in entsprechenden Meßwerten abzubilden. Ferner dient das Vibrations-Meßgerät bevorzugt dazu neben Viskosität  $\eta$  und Dichte  $\rho$  gleichzeitig einen Massendurchfluß  $m$  des Fluids zu ermitteln.

[0029] Zum Erfassen vorgenannter, das Fluid beschreibender Parameter, nämlich der Viskosität  $\eta$ , der Dichte  $\rho$  und ggf. des Massendurchfluß  $m$ , umfaßt das Vibrations-Meßgerät einen in die Rohrleitung fluiddicht, insb. druckdicht, eingefügten Meßwerteaufnehmer 10 zum Führen des Fluids. Ferner umfaßt das Vibrations-Meßgerät eine dem Ansteuern des Meßwerteaufnehmers 10 und der Generierung vorgenannter Meßwerte dienende Meßgeräte-Elektronik 50. Für den Fall, daß das Vibrations-Meßgerät für eine Ankopplung an einen, insb. seriellen, Feldbus vorgesehen ist, weist die Meßgeräte-Elektronik 50 eine entsprechende Kommunikation-Schnittstelle für eine Datenkommunikation, z. B. zum Senden der Meßdaten an eine übergeordnete speicherprogrammierbare Steuerung oder ein übergeordnetes Prozeßleitsystem, auf. Selbstverständlich ist die Meßgeräte-Elektronik 50 in der dem Fachmann bekannten Weise vorzugsweise in einem nicht dargestellten Gehäuse unterzubringen.

[0030] In den Fig. 2 und 3 ist ein Ausführungsbeispiel einer als ein Meßwerteaufnehmer 10 dienende physikalisch-zu-elektrische Wandleranordnung gezeigt. Der Aufbau einer derartigen Wandleranordnung ist z. B. auch in der US-A 60 06 609 ausführlich beschrieben. Ferner wird vorgenannte Wandleranordnung z. B. in von der Anmelderin hergestellten Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemeßgeräten der Serie "PROMASS I" verwendet.

[0031] Der Meßwerteaufnehmer 10 umfaßt ein gerades, ein Einlaßende 11 und ein Auslaßende 12 aufweisendes Meßrohr 13 von vorgebbarem, elastisch verformbarem Meßrohrlumens 13A und von vorgebbarem Nennweite  $D_{13}$ , welches Meßrohr 13 in einen starren Tragrahmen 14 schwingfähig eingespannt ist. Elastisches Verformen des Meßrohrlumens 13A bedeutet hier, daß zum Erzeugen von das Fluid beschreibenden Reaktionskräften, nämlich Corioliskräften, Masseträgheitskräften und/oder Scherkräften, im Betrieb des Meßwerteaufnehmers 10 eine Raumform und/oder eine Raumlage des das Fluid führenden Meßrohrlumens 13A innerhalb eines Elastizitätsbereiches des Meßrohrs 13 in vorgebbarer Weise zyklisch, insb. periodisch, verändert werden, vgl. z. B. die US-A 48 01 897, die US-A 56 48 616, die US-A 57 96 011 und/oder die US-A 60 06 609.

[0032] Der Tragrahmen 14 ist am Einlaßende 11 mit einer das Meßrohr 13 umhüllenden Einlaßplatte 213 und am Auslaßende 12 mit einer das Meßrohr 13 ebenfalls umhüllenden Auslaßplatte 223 fixiert. Des weiteren weist der Tragrahmen 14 eine erste Trägerplatte 24 und eine zweite Trägerplatte 34 auf, welche beiden Trägerplatten 24, 34 derart an der Einlaßplatte 213 und an der Auslaßplatte 223 fixiert sind, daß sie im wesentlichen parallel zum Meßrohr 13 sowie von diesem und voneinander beabstandet angeordnet sind, vgl. Fig. 2. Somit sind einander zugewandte Seitenflächen der beiden Trägerplatten 24, 34 ebenfalls parallel zueinander.

[0033] In vorteilhafter Weise ist ein Längsstab 25 an den Trägerplatte 24, 34 vom Meßrohr 13 beabstandet fixiert, der als Schwingungen des Meßrohrs 13 tilgende Auswuchtmasse dient. Der Längsstab 25 erstreckt sich, wie in Fig. 3 dargestellt, praktisch parallel zur gesamten schwingfähigen Länge des Meßrohrs 13; dies ist jedoch nicht zwingend, der Längsstab 25 kann selbstverständlich, falls erforderlich, auch kürzer ausgeführt sein.

[0034] Der Tragrahmen 14 mit den beiden Trägerplatten 24, 34, der Einlaßplatte 213, der Auslaßplatte 223 und ggf. dem Längsstab 25 hat somit eine Längsschwerelinie, die parallel zu einer das Einlaßende 11 und das Auslaßende 12 virtuell verbindenden Meßrohr-Längsachse 13B verläuft.

[0035] In den Fig. 2 und 3 ist durch die Köpfe der gezeichneten Schrauben angedeutet, dass das erwähnte Fixieren der Trägerplatten 24, 34 an den Endplatten 213, 223 und am Längsstab 25 durch Verschrauben erfolgen kann; es können aber auch andere geeignete und dem Fachmann geläufige Befestigungsarten angewendet werden.

[0036] Gemäß der Fig. 2 umfaßt der Meßwerteaufnehmer 10 ferner eine elektromechanische Erregeranordnung 16, die dazu dient, das Meßrohr 13 im Betrieb aus einer statischen Ruhelage räumlich auszulenken und somit in vorgebbarer Weise elastisch zu verformen.

[0037] Die Erregeranordnung 16 weist dazu, wie in Fig. 4 dargestellt, eine starre, hier T-förmige, Hebelanordnung 15 mit einem am Meßrohr biegefest fixierten Ausleger 154 und mit einem Joch 163 auf. Das Joch 163 ist an einem vom Meßrohr 13 beabstandeten Ende des Auslegers 154 ebenfalls biegefest fixiert, und zwar so, daß es quer zur bereits erwähnten Meßrohr-Längsachse 13B ausgerichtet ist. Als Ausleger 154 kann z. B. eine metallische Scheibe dienen, die das Meßrohr in einer Bohrung aufnimmt. Für weitere geeignete Ausführungen der Hebelanordnung 15 sei an dieser Stelle auf die bereits erwähnte US-A 60 06 609 verwiesen.

[0038] Die Hebelanordnung 15 ist bevorzugt, wie in Fig. 2 ohne weiteres erkennbar, so angeordnet, daß sie etwa in der Mitte zwischen Einlaß- und Auslaßende 11, 12 auf Meßrohr 13 einwirkt und somit das Meßrohr 13 im Betrieb mittig eine größte laterale Auslenkung ausführt.

[0039] Zum Antreiben der Hebelanordnung 15 umfaßt die Erregeranordnung 16 gemäß Fig. 4 eine erste Erregerspule 26 und einen zugehörigen ersten Dauermagneten 27 sowie eine zweite Erregerspule 36 und einen zugehörigen zweiten Dauermagneten 37 auf, welche beiden Erregerspulen 26, 36 beiderseits des Meßrohrs 13 unterhalb des Jochs 163 am Tragrahmen 14, insb. lösbar, fixiert sind. Die beiden Erregerspulen 26, 36 sind bevorzugt in Reihe geschaltet; sie können falls erforderlich selbstverständlich auch zueinander parallel geschaltet sein.

[0040] Die beiden Dauermagneten 27, 37 sind, wie in Fig. 2 und 4 dargestellt, derart voneinander beabstandet am Joch 163 fixiert, das im Betrieb des Meßwerteaufnehmers 10 der Dauermagnet 27 im wesentlichen von einem Magnetfeld der Erregerspule 26 und der Dauermagnet 37 im wesentlichen von einem Magnetfeld der Erregerspule 36 durchflutet und aufgrund entsprechender elektromagnetischer Kraftwirkungen bewegt werden. Dazu wird die Erregeranordnung 16 mittels eines von einer entsprechenden Erregerschaltung 50A der Meßgeräte-Elektronik 50 gelieferten gleichfalls oszillierenden, uni-polaren oder bipolaren, Erregerstrom  $i_{exc}$  von einstellbarer Amplitude und von einstellbarer Erregerfrequenz  $f_{exc}$  derart gespeist, daß die Erregerspulen 26, 36 im Betrieb von diesem durchflossen sind und in entsprechender Weise die Magnetfelder zum Bewegen der Dauermagneten 27, 37 erzeugt werden. Der Erregerstrom  $i_{exc}$  kann z. B. als eine harmonische Schwingung, als eine Dreieck-Schwingung oder als eine Rechteck-Schwingung ausgebildet sein. Die, insb. einzige, Erregerfrequenz  $f_{exc}$  des Erregerstrom  $i_{exc}$  entspricht, wie bei Vibrations-Meßgeräten der beschriebenen Art üblich, einer einer momentanen mechanischen Resonanzfrequenz des fluidführenden Meßrohrs 13.

[0041] Die mittels der Magnetfelder der Erregerspulen 26, 36 erzeugten Bewegungen der Dauermagnete 27, 37 werden via Joch 163 und Ausleger 154 auf das Meßrohr 13 übertragen. Diese Bewegungen der Dauermagnete 27, 37 sind so ausgebildet, daß das Joch 163 mit der, insb. einzigen, Erregerfrequenz  $f_{exc}$  alternierend in Richtung der Trägerplatte 24 oder in Richtung der Trägerplatte 34 aus seiner Ruhelage ausgelenkt wird. Eine entsprechende, zur bereits erwähnten Meßrohr längsachse 13B parallele Drehachse der Hebelanordnung 15 kann z. B. durch den Ausleger 154 verlaufen.

[0042] Für letzteren Fall ist in vorteilhafter Weise eine auf dem Wirbelstromprinzip beruhenden Magnetlageranordnung in die Erregeranordnung 16 integriert, die dazu dient, die, insb. von der momentanen Dichte des Fluids abhängige, Lage dieser Drehachse einzustellen und/oder zu stabilisieren.

[0043] Einzelheiten dieser Magnetlageranordnung sind z. B. in der US-A 60 06 609 ausführlich beschrieben; ferner ist die Verwendung einer derartigen Magnetlageranordnung bereits von Meßwerteaufnehmern der erwähnten Serie "PRO-MASS I" bekannt.

[0044] Bevorzugt umfaßt der Tragrahmen 14 ferner eine mit den Trägerplatten 24, 34, insb. lösbar, verbundene Halterung 29 für die elektromechanische Erregeranordnung 16, die insb. dem Haltern der Erregerspulen 26, 36 und ggf. einzelner Komponenten vorgenannter Magnetlageranordnung dient.

[0045] Wie bereits erwähnt, dient die Erregeranordnung 16 dazu, im Betrieb des Meßwerteaufnehmers 10 das Meßrohr 13 zu mechanischen Schwingungen um eine statische Ruhelage anzuregen, wodurch dieses zumindest laterale, insb. lateral oszillierende, Auslenkungen ausführt.

[0046] Beim Meßwerteaufnehmer 10 des Ausführungsbeispiels bewirken diese lateralen Auslenkungen gleichzeitig eine elastische Verformung des Meßrohr lumens 13A des am Einlaßende 11 und am Auslaßende 12 in der oben beschriebenen Weise fest eingespannten Meßrohr 13. Diese Verformung des Meßrohr lumens 13A ist dabei praktisch über die gesamte Länge des Meßrohr 13 ausgebildet.

[0047] Ferner wird im Meßrohr 13 aufgrund seiner Einspannung und aufgrund eines via Hebelanordnung 15 auf das Meßrohr 13 wirkenden Moments gleichzeitig zu den lateralen Auslenkungen eine torsionale zumindest abschnittsweise Verdrehung erzwungen. Diese Verdrehung des Meßrohrs 13 kann so ausgebildet sein, daß eine laterale Auslenkung des vom Meßrohr 13 beabstandeten Ende des Auslegers entweder in gleichgerichtet oder entgegengerichtet zur lateralen Auslenkung des Meßrohrs 13 ist. Anders gesagt, das Meßrohr 13 kann Torsionsschwingungen in einem dem ersteren Fall entsprechenden ersten Torsionsmode oder in einem dem letzteren Fall entsprechenden zweiten Torsionsmode ausführen, wobei beim Meßwerteaufnehmer 10 gemäß dem Ausführungsbeispiel eine Eigenfrequenz des zweiten Torsionsmode, von z. B. 900 Hz, in etwa doppelt so hoch ist wie die des ersten.

[0048] Bevorzugt wird für den Meßwerteaufnehmer 10 gemäß dem Ausführungsbeispiel die Erregerfrequenz  $f_{exc}$  so eingestellt, daß ausschließlich der zweite Torsionsmode erregt und dementsprechend der erste im wesentlichen unterdrückt ist; falls erforderlich, kann aber auch der erste Torsionsmode angeregt werden.

[0049] Gemäß Fig. 1 weist der Meßwerteaufnehmer 10 des weiteren eine Sensoranordnung 60 auf, die dazu dient, momentane räumliche Auslenkungen des Meßrohrs 13 zu erfassen und entsprechende, insb. analoge, Signale zu erzeugen. Die Sensoranordnung 60 umfaßt dazu einen auf einlaßseitige erste lateral oszillierende Auslenkungen des Meßrohrs 13 reagierenden ersten Sensor 17 und einen auf auslaßseitige zweite lateral oszillierende Auslenkungen des Meßrohrs 13 reagierenden zweiten Sensor 18. Als Sensoren 17, 18 werden bevorzugt geschwindigkeitsmessende, elektrodynamische Sensoren verwendet. Es können aber auch weg-, oder beschleunigungsmessende, elektrodynamische oder aber auch optische Sensoren verwendet werden. Selbstverständlich können auch andere dem Fachmann bekannte, auf derartige Auslenkungen reagierende Sensoren als Sensoren 17, 18 dienen.

[0050] Beide Sensoren 17, 18 sind entlang des Meßrohrs 13 voneinander beabstandet, insb. in gleichem Abstand zur Mitte des Meßrohrs 13, am Tragrahmen 14, insb. an einer der Trägerplatten 24 oder 34, fixiert angeordnet.

[0051] Mittels der Sensoren 17, 18 erzeugt die Sensoranordnung 60 im Betrieb somit ein die einlaßseitigen lateralen Auslenkungen repräsentierendes erstes Sensorsignal  $x_{s1}$  sowie ein die auslaßseitigen lateralen Auslenkungen repräsentierendes zweites Sensorsignal  $x_{s2}$ . Die Sensorsignale  $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$  sind, wie in Fig. 1 gezeigt, einer Auswerterschaltung 50B der Meßgeräte-Elektronik 50 zugeführt. Beide Sensorsignale  $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$  weisen jeweils eine der Erregerfrequenz  $f_{exc}$  entsprechende Signalfrequenz auf.

[0052] Bevorzugt umfaßt die Sensoranordnung 60 ferner eine Verstärkerschaltung, die dazu dient beide Sensorsignale  $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$  auf eine gleiche Amplitude einzustellen. Eine dafür geeignete Amplitudenregelschaltung ist z. B. in der US-

A 56 48 616 beschrieben.

**[0053]** Das Einstellen der Erregerfrequenz  $f_{exc}$  erfolgt, wie bei derartigen Erregeranordnungen üblich, bevorzugt mittels einer, insb. phasengesteuerten, Frequenzregelschaltung der Erregerschaltung 50A. Der Aufbau und die Verwendung einer geeigneten phasengesteuerten Frequenzregelschaltung zum Einstellen einer mechanischen Resonanzfrequenz ist z. B. in der US-A 48 01 897 ausführlich beschrieben.

**[0054]** Selbstverständlich können auch andere, dem Fachmann bekannte Frequenzregelschaltungen verwendet werden, die dem Einstellen mechanischer Resonanzfrequenzen für Vibrations-Meßgeräte der beschriebenen Art dienen, vgl. z. B. die US-A 45 24 610, US-A 48 01 897. Ferner sei hinsichtlich einer Verwendung einer solchen Frequenzregelschaltung für Meßwerteaufnehmer der beschriebenen Art auf die bereits erwähnte Serie "PROMASS I" verwiesen.

**[0055]** Zum Einstellen des Erregerstroms  $i_{exc}$  dient, wie bei derartigen Vibrations-Meßgeräten üblich, eine entsprechende Verstärkerschaltung die von einem die Erregerfrequenz  $f_{exc}$  repräsentierenden Frequenzstellsignal und von einem die Amplitude des Erregerstroms  $i_{exc}$  repräsentierenden Erregerstromstellsignal gesteuert ist. Das Frequenzstellsignal kann z. B. eine von der oben erwähnten Frequenzregelschaltung gelieferte Gleichspannung mit einer frequenz-repräsentativen Amplitude sein.

**[0056]** Zum Erzeugen des Erregerstroms  $i_{exc}$  umfaßt die Erregerschaltung 50A eine entsprechende Amplitudenregelschaltung die dazu dient, mittels der momentane Amplitude wenigstens eines der beiden Sensorsignale  $x_{s1}$  und/oder  $x_{s2}$  sowie mittels eines entsprechenden konstanten oder variablen Amplitudenreferenzwerts das Erregerstromstellsignal zu erzeugen; ggf. kann auch ein momentane Amplitude des Erregerstroms  $i_{exc}$  zur Generierung des Erregerstromstellsignals hinzugezogen werden. Derartige Amplitudenregelschaltungen sind dem Fachmann ebenfalls bekannt.

**[0057]** Als ein Beispiel für eine solche Amplitudenregelschaltung sei nochmals auf die Serie "PROMASS I" verwiesen. Deren Amplitudenregelschaltung ist bevorzugt so ausgeführt, daß die Schwingungen des jeweiligen Meßrohrs im bereits erwähnten ersten Schwingungsmodus auf eine konstante, also dichteunabhängige, Amplitude geregelt werden.

**[0058]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Ermitteln einer Viskosität  $\eta$  des Fluids soll nachfolgend am Beispiel des vorbeschriebenen Meßwerteaufnehmers 10 näher erläutert werden. Es sei vorangestellt, daß unter dem Begriff Viskosität sowohl eine dynamische Viskosität als auch eine kinematische Viskosität des Fluids verstanden werden kann, da sich beide Viskositäten mittels der ebenfalls im Betrieb des Vibrations-Meßgerätes gemessenen Dichte ohne weiteres ineinander umrechnen lassen. Ferner kann anstelle der Viskosität  $\eta$  auch deren Kehrwert, also eine Fluidität des Fluids ermittelt werden.

**[0059]** Bei Vibrations-Meßgeräten mit wenigstens einem in der vorbeschriebenen Weise oszillierenden Meßrohr bewirken die räumliche Auslenkungen des jeweiligen Meßrohrs Scherkräfte verursachenden Bewegungen des Fluids. Diese Scherkräfte im Fluid sind von dessen Viskosität  $\eta$  mitbestimmt und wirken in Form von Reibungsverlusten dämpfend auf oszillierende Meßrohr.

**[0060]** Es hat sich gezeigt, daß ein Verhältnis  $i_{exc}/\theta$  des Erregerstroms  $i_{exc}$  zu einer praktisch nicht direkt meßbaren Geschwindigkeit  $\theta$  einer Scherkräfte verursachenden Bewegung des Fluids eine repräsentative Schätzung für eine dieser Auslenkung entgegenwirkenden Dämpfung ist. Diese Dämpfung der Auslenkung ist dabei durch einen Dämpfungsanteil mitbestimmt, der auf viskose Reibung innerhalb des Fluids zurückzuführen ist und kann somit zur Ermittlung der Viskosität dienen. Dementsprechend sind zur Bestimmung der Viskosität  $\eta$  neben dem Erregerstrom  $i_{exc}$  auch die Geschwindigkeit  $\theta$  vorgenannter Bewegungen des Fluids zu ermitteln.

**[0061]** Für das in der bereits erwähnten US-A 45 24 610 beschriebene Verfahren zur Viskositätsmessung wird die Geschwindigkeit  $\theta$  mittels einer von einem Antriebshebel ausgeführten Antriebsbewegung geschätzt, die torisionale Verdrehungen eines entsprechenden Meßrohrs bewirkt. Dieser Antriebshebel entspricht somit in etwa der Hebelanordnung 15.

**[0062]** Zum Erfassen der die Geschwindigkeit  $\theta$  zum Zwecke der Viskositätsmessung mittels eines Meßwerteaufnehmers der beschriebenen Art ist die Hebelanordnung 15 jedoch nur bedingt geeignet. Zum einen deshalb, weil wie bereits erwähnt, die Lage der Drehachse der Hebelanordnung 15 veränderlich ist und dementsprechend stets aktuell ermittelt werden muß; zum anderen auch deshalb, weil eine derartige Hebelanordnung oftmals an Meßwerteaufnehmern der beschriebenen Art nicht vorgesehen ist.

**[0063]** Erfindungsgemäß wird die Geschwindigkeit  $\theta$  daher nicht direkt an der Hebelanordnung 15 des Meßwerteaufnehmers 10 erfaßt, sondern mittels der von der Sensoranordnung 60 gelieferten Sensorsignale  $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$ .

**[0064]** Die Verwendung der Sensorsignale  $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$  zur Messung der Viskosität  $\eta$  basiert auf der überraschenden Erkenntnis, daß die Geschwindigkeit  $\theta$  der für die viskose Reibung verantwortlichen Bewegung des Fluids zumindest im Arbeitsbereich von Meßwerteaufnehmern der beschriebenen Art in einer reproduzierbaren, insb. linearen, Beziehung zur momentanen lateralen Auslenkung des Meßrohrs 13 steht. Es kann somit mit guter Näherung angenommen werden, daß gilt:

$$X_{\theta} = K_1 \cdot X_v \quad (1)$$

**[0065]** Darin sind

$X_v$  ein vom Sensorsignal  $x_{s1}$  und/oder vom Sensorsignal  $x_{s2}$  abgeleiteter, eine Geschwindigkeit der lateralen Auslenkung des Meßrohrs 13 momentan repräsentierender Geschwindigkeitsmeßwert,

$X_{\theta}$  ein Schätzwert für die Geschwindigkeit  $\theta$  der Scherkräfte und damit eine viskose Reibung verursachenden Bewegung des Fluids und

$K_1$  ein, insb. durch Kalibriermessungen, zu ermittelnder Proportionalitätsfaktor.

**[0066]** Bei dem Geschwindigkeitsmeßwert  $X_v$  kann es sich sowohl um einen von einem einzigen Sensorsignal  $x_{s1}$  oder  $x_{s2}$  als auch um einen von beiden Sensorsignalen  $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$ , insb. von deren Signalsumme  $x_{s1} + x_{s2}$ , abgeleiteten Signalwert, z. B. eine momentane Signalamplitude, handeln. Für den Fall, daß die die Sensoren 17, 18 symmetrisch zur Mitte des Meßrohrs 13 angeordnet und die Sensorsignale  $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$ , wie bereits erwähnt, eine gleiche oder gleich-geregelte Signalamplitude aufweisen, ist die Signalsumme  $x_{s1} + x_{s2}$  beim Meßwerteaufnehmer 10 gemäß dem Ausführungsbeispiel

praktisch proportional zur lateralen Auslenkung in der Mitte des Meßrohrs 13.

[0067] Der mittels Gl. (1) formulierte Zusammenhang ist für jeweilige konkrete Realisierungen des Meßwerteaufnehmers 10 durch entsprechende Kalibriermessungen, bestimmbar und in die Meßgeräte-Elektronik 50 zu implementieren. Zum Ermitteln des Proportionalitätsfaktor  $K_1$  ist während einer Kalibriermessung z. B. die tatsächliche Geschwindigkeit der Verdrehung in der Mitte des Meßrohrs 13 zu bestimmen und in Relation zu den gleichzeitig erzeugten Sensorsignalen  $x_{s1}$  und/oder  $x_{s2}$  zu setzen. Ferner besteht die Möglichkeit den Proportionalitätsfaktor  $K_1$  für eine Serie von Meßwerteaufnehmern z. B. mittels dem Fachmann bekannter Finite-Elemente-Methoden numerisch zu berechnen.

[0068] Selbstverständlich kann die Gl. (1) zur Schätzung der Geschwindigkeit  $\theta$ , falls erforderlich, auch als ein Polynom von höherer Ordnung  $X_\theta = X_\theta(\dots, x_{s1}, x_{s2}^2, \dots)$  formuliert und entsprechend kalibriert werden. Insbesondere für den Fall, daß nur ein einziges der Sensorsignale  $x_{s1}, x_{s2}$  zur Ermittlung des Schätzwertes  $X_\theta$  verwendet wird, ist der Einfluß des momentanen Massedurchflusses auf die Schätzung der Geschwindigkeit  $\theta$  entsprechend zu kalibrieren.

[0069] Zum Kalibrieren werden üblicherweise zwei oder mehrere verschiedene Fluide mit bekannten Parametern, wie z. B. Dichte  $\rho$ , Massedurchfluß, die Viskosität  $\eta$  und/oder Temperatur des Fluids, nacheinander durch den Meßwerteaufnehmer hindurchströmen gelassen und die entsprechenden Reaktionen des Meßwerteaufnehmers, wie z. B. der momentane Erregerstrom  $i_{exc}$  und/oder die momentane Erregerfrequenz  $f_{exc}$ , gemessen. Die eingestellten Parameter und die jeweils gemessenen Reaktionen des Meßwerteaufnehmers werden in entsprechender Weise zueinander in Relation gesetzt und somit auf die entsprechenden Kalibrierkonstanten abgebildet. Die ermittelten Kalibrierkonstanten können dann z. B. in Form von digitalen Daten in einem Tabellenspeicher der Auswerteschaltung 50B abgelegt werden; sie können aber auch als analoge Einstellwerte für entsprechende Rechenschaltungen dienen. Es sei an dieser Stelle darauf verwiesen, daß das Kalibrieren derartiger Meßwerteaufnehmer dem Fachmann an und für sich bekannt ist und daher keiner detaillierten Erläuterung bedarf.

[0070] Die Dämpfung der Schwingungen des Meßrohrs 13 ist, neben dem auf die viskose Reibung zurückzuführenden Dämpfungsanteil auch durch einen vom Fluid praktisch unabhängigen Dämpfungsanteil mitbestimmt. Dieser Dämpfungsanteil wird von Reibungskräften verursacht, die z. B. in der Erregeranordnung 16 und im Material des Meßrohr 13 wirken. Anders gesagt, der gemessene Erregerstrom  $i_{exc}$  repräsentiert die Gesamtheit der Reibungskräfte und/oder Reibungsmomente im Meßwerteaufnehmer 10. Zur Ermittlung der Viskosität  $\eta$  des Fluids ist der vom Fluid unabhängige Dämpfungsanteil dementsprechend aus dem Verhältnis  $i_{exc}/\theta$  zu eliminieren, d. h. es ist ein Verhältnis  $\Delta i_{exc}/\theta$  eines Erregerstromanteils  $\Delta i_{exc}$ , der dem auf die viskose Reibung zurückzuführenden Dämpfungsanteil des Erregerstroms  $i_{exc}$  entspricht, zur Geschwindigkeit  $\theta$  zu ermitteln.

[0071] Ferner ist, wie z. B. in der US-A 45 24 610 beschrieben, eine Frequenz der Torsions-Schwingungen sowie die Dichte  $\rho$  des Fluids bei der Ermittlung Viskosität  $\eta$  zu berücksichtigen.

[0072] Zum Erzeugen eines den Erregerstromanteil  $\Delta i_{exc}$  und somit die viskose Reibung repräsentierenden Reibungsmeßwertes  $X_{\Delta i}$  wird im Betrieb des Vibrations-Meßgerätes von einem den Erregerstrom  $i_{exc}$  momentan repräsentierenden Erregerstrommeßwert, ein entsprechender Leerstrommeßwert  $K_i$  subtrahiert, der die vorgenannten Reibungskräfte in der Erregeranordnung 16 repräsentiert. Dieser Leerstrommeßwert  $K_i$  ist während einer Kalibrierung des Vibrations-Meßgerät für ein evakuiertes oder ein nur Luft führendes Meßrohr 13 zu bestimmen und entsprechend in der Meßgeräte-Elektronik 50 abzuspeichern oder einzustellen. Es ist für den Fachmann ohne weiteres klar, daß falls erforderlich, andere den Leerstrommeßwert  $K_i$  beeinflussende physikalische Parameter, wie z. B. eine momentane Temperatur des Meßrohrs und/oder des Fluids, beim Kalibrieren des Leerstrommeßwert  $K_i$  zu berücksichtigen sind.

[0073] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung basiert die Ermittlung der Viskosität  $\eta$  auf folgender Beziehung:

$$X_\eta = \frac{K_2}{X_{\rho f}} \cdot \left( \frac{X_{\Delta i}}{X_\theta} \right)^2 \quad (2)$$

[0074] Darin sind:

$X_\eta$  ein zu die Viskosität  $\eta$  des Fluids repräsentierender Viskositäts-Meßwert,

$X_{\rho f}$  ein von der Dichte  $\rho$  des Fluids und von der Erregerfrequenz  $f_{exc}$  abhängiger Korrekturwert,

$X_{\Delta i}/X_\theta$  ein das Verhältnis  $\Delta i_{exc}/\theta$  repräsentierender Quotientenwert und

$K_2$  eine durch Kalibrierung zu bestimmende, insb. von der Nennweite  $D_{13}$  abhängige, Konstante.

[0075] Für den Korrekturwert  $X_{\rho f}$  gilt ferner mit guter Näherung folgende Beziehung:

$$X_{\rho f} = X_\rho \cdot X_f \quad (3)$$

[0076] Sowohl der Dichte-Meßwert  $X_\rho$  als auch der Erregerfrequenz-Meßwert  $X_f$  sind Meßwerte, die beim Betrieb von Vibrations-Meßgeräten der beschriebenen Art, insb. auch im Betrieb von Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemeßgeräten, üblicherweise ermittelt werden, vgl. hierzu z. B. die US-A 41 87 721, die US-A 45 24 610, die US-A 48 76 879, die US-A 56 48 616 oder die US-A 56 87 100. Somit kann eine Verfügbarkeit dieser Meßwerte  $X_f, X_\rho$  für die erfindungsgemäße Ermittlung der Viskosität  $\eta$  ohne weiteres vorausgesetzt werden.

[0077] Es hat sich gezeigt, daß der gemäß Gl. (2) ermittelte Viskositäts-Meßwert  $X_\eta$  um so genauer mit der tatsächlichen Viskosität  $\eta$  übereinstimmt, je niedriger die Viskosität  $\eta$  und/oder je höher die Dichte  $\rho$  des Fluids ist. Ferner wird die Viskosität  $\eta$  bei dieser Ausgestaltung der Erfindung umso genauer bestimmt, je größer die Nennweite des Meßrohrs 13 ist und je höher die momentane Erregerfrequenz  $f_{exc}$  eingestellt ist.

[0078] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung ist daher für eine genauere Ermittlung des Viskositäts-Meßwertes  $X_\eta$ , insb. bei einer Viskosität  $\eta$  größer  $1 \dots 5 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-1}$  und/oder bei Nennweiten kleiner  $8 \dots 35 \text{ mm}$ , folgende Beziehung zu Grunde gelegt:

$$X_{\eta} = \frac{1}{2} \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot X_{p,f} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{K_4}{K_3 \cdot X_{p,f}} \cdot \frac{X_{\Delta i}}{X_{\theta}}} \right)^2 \quad (4)$$

[0079] Darin sind:

$K_3$ ,  $K_4$  durch Kalibrierung zu bestimmende Konstanten.

[0080] Für den Meßwerteaufnehmer 10 gemäß dem Ausführungsbeispiel kann ein Wert der Konstante  $K_3$  z. B. in einem Bereich von etwa 0,24 bis 0,25 liegen.

[0081] Die Gleichung (4) berücksichtigt insb. die Tatsache, daß innerhalb des Arbeitsbereiches von Meßwerteaufnehmern der beschriebenen Art der Einfluß der im Fluid wirkenden, viskositätsabhängigen Reibungskräfte auf den Erregerstromanteil  $\Delta i_{exc}$  in radialer Richtung zur erwähnten Meßrohr längsachse hin degressiv abnimmt.

[0082] Es hat sich ferner gezeigt, daß die oben beschriebene Schätzung der Geschwindigkeit  $\theta$  gemäß Gl. (1) in geringem Maße auch von der Dichte  $\rho$  des Fluids abhängig ist, so daß praktisch gilt:

$$K_1 = K_1(\rho) \quad (5)$$

[0083] Untersuchungen haben gezeigt, daß für den Meßwerteaufnehmer 10 gemäß dem Ausführungsbeispiel der Proportionalitätsfaktor  $K_1$  zur Korrektur dieser Dichteabhängigkeit gemäß folgender Beziehung ermittelt werden kann:

$$K_1 = \frac{K_{1,0}}{1 + K_5 \cdot (X_p - \rho_0)} \quad (6)$$

[0084] Darin sind

$\rho_0$  eine eingestellte und/oder gemessene Dichte eines der Kalibrierung des Meßwerteaufnehmers 10 dienenden Kalibrierfluids,

$K_{1,0}$  Proportionalitätsfaktor, für den das Kalibrierfluid führenden Meßwerteaufnehmer 10 und

$K_5$  eine von der Nennweite  $D_{13}$  abhängige, zu kalibrierende Konstante.

[0085] In Analogie zur Gl. (1) gilt für den Proportionalitätsfaktor  $K_{1,0}$ :

$$K_{1,0} = \frac{X_{\theta,0}}{X_{v,0}} \quad (7)$$

[0086] Darin sind

$X_{\theta,0}$  erster Kalibrations-Meßwert, der die Geschwindigkeit  $\theta$  des das Kalibrierfluid führenden Meßrohrs 13 repräsentiert und

$X_{v,0}$  ein vom Sensorsignal  $x_{s1}$  und/oder vom Sensorsignal  $x_{s2}$  abgeleiteter zweiter Kalibrations-Meßwert, der eine Geschwindigkeit der lateralen Auslenkung des das Kalibrierfluid führenden Meßrohrs 13 repräsentiert.

[0087] Zum Erzeugen des Viskositäts-Meßwertes  $X_{\eta}$  umfaßt die Auswerteschaltung 50B bevorzugt wenigstens einen programmierbaren Mikrocomputer, in den die vorbeschriebenen Gleichungen, nämlich Gl. (1), (3) sowie die Gl. (2) und/oder die Gl. (4) und/oder die Gl. (6) in Form von entsprechenden Programm-Codes implementiert sind. Das Erstellen von Programm-Codes zur Realisierung von derartigen Gleichung ist dem Fachmann geläufig. Auch das Übersetzen vorgenannter Gleichungen ist für den Fachmann ohne weiteres durchführbar und bedarf daher an dieser Stelle keiner detaillierten Erläuterung.

[0088] Selbstverständlich können diese Gleichungen auch ohne weiteres ganz oder teilweise mittels entsprechender analoger Rechenschaltungen in der Auswerteschaltung 50B dargestellt werden.

[0089] Aufgrund eines relativ hohen Verhältnisses  $\Delta i_{exc}/i_{exc}$  des Erregerstromanteils  $\Delta i_{exc}$  zum Erregerstrom  $i_{exc}$  von in etwa 0,9 ist der Meßwerteaufnehmer 10 gemäß dem Ausführungsbeispiel für die Messung der Viskosität  $\eta$  besonders geeignet. Es können aber auch andere dem Fachmann bekannte Meßwerteaufnehmer z. B. mit einem helix-förmig gebogenen Meßrohr verwendet werden. Ferner können auch, wie bereits erwähnt, Meßwerteaufnehmer mit zwei parallelen, geraden oder mit zwei parallelen, U-förmig gebogenen Meßrohren in geeigneter Weise zur Messung der Viskosität  $\eta$  eingesetzt werden. Derartige Meßwerteaufnehmer sind z. B. in der US-A 56 48 616 oder in der US-A 57 96 011 beschrieben und weisen ein Verhältnis  $\Delta i_{exc}/i_{exc}$  von in etwa 0,7 bis 0,8 auf.

#### Patentsprüche

1. Vibrations-Meßgerät zum Messen einer Viskosität eines in einer Rohrleitung geführten Fluids, welches Vibrations-Meßgerät umfaßt:
  - einen Meßwerteaufnehmer (10)
  - mit mindestens einem in die Rohrleitung eingefügtem Meßrohr (13), das ein das Fluid führende Meßrohr lumen (13A) aufweist und an einem Einlaßende sowie an einem Auslaßende schwingfähig eingespannt ist,
  - mit einer elektromechanische Erregeranordnung (16) zum Erzeugen räumlicher Auslenkungen des Meßrohrs (13) sowie
  - mit einer auf laterale Auslenkungen des Meßrohrs (13) reagierenden Sensoranordnung (60) zum Erzeugen eines einlaßseitige Auslenkung des Meßrohrs (13) repräsentierenden ersten Sensorsignals ( $x_{s1}$ )



- und  
zum Erzeugen eines eine auslaßseitige Auslenkung des Meßrohrs (13) repräsentierenden zweiten Sensorsignals ( $x_{s2}$ ),  
wobei im Betrieb das Meßrohr (13) zum Erzeugen viskoser Reibungen im Fluid mit einer einstellbaren Erregerfrequenz ( $f_{exc}$ ) relativ zu einer Ruhelage oszilliert, sowie  
eine Meßgeräte-Elektronik (50)  
mit einer Erregerschaltung (50A), die einen die Erregeranordnung (16) speisenden Erregerstrom ( $i_{exc}$ ) erzeugt, und  
mit einer Auswerteschaltung (50B),  
die mittels des Erregerstroms ( $i_{exc}$ ) einen die viskose Reibungen im Fluid repräsentierenden Reibungsmeßwert ( $X_{\Delta i}$ ) erzeugt  
die mittels des ersten Sensorsignals ( $x_{s1}$ ) und/oder mittels des zweiten Sensorsignals ( $x_{s2}$ ) sowie mittels des Reibungsmeßwertes ( $X_{\Delta i}$ ) einen die Viskosität des Fluids repräsentierenden Viskositäts-Meßwert ( $X_{\eta}$ ) liefert.
2. Vibrations-Meßgerät nach Anspruch 1, bei dem die Auswerteschaltung (50B) mittels des ersten Sensorsignals ( $x_{s1}$ ) und/oder mittels des zweiten Sensorsignals ( $x_{s2}$ ) einen Schätzwert ( $X_{\theta}$ ) für eine Geschwindigkeit einer die viskose Reibung verursachenden Bewegung des Fluids erzeugt.
  3. Vibrations-Meßgerät nach Anspruch 2, bei dem die Auswerteschaltung (50B) mittels des Reibungswertes ( $X_{\Delta i}$ ) und mittels des Schätzwertes ( $X_{\theta}$ ) einen Quotientenwert ( $X_{\Delta i}/X_{\theta}$ ) erzeugt, der eine von der viskosen Reibung bewirkte Dämpfung des oszillierenden Meßrohrs (13) repräsentiert.
  4. Vibrations-Meßgerät nach Anspruch 1, bei dem im Meßrohr (13) aufgrund seiner räumlichen Auslenkungen elastische Verformungen des Meßrohrlumens (13A) bewirkt werden.
  5. Vibrations-Meßgerät nach Anspruch 4, bei dem im Meßrohr (13) aufgrund seiner räumlichen Auslenkungen torsionale Verdrehungen um eine Meßrohr-Längsachse (13B) bewirkt werden.
  6. Verfahren zum Messen einer Viskosität eines in einer Rohrleitung geführten Fluids mittels eines Vibrations-Meßgerätes, das umfaßt:  
einen Meßwerteaufnehmer (10)  
mit mindestens einem in die Rohrleitung eingefügtem Meßrohr (13), das im Betrieb mit einer einstellbaren Erregerfrequenz ( $f_{exc}$ ) relativ zu einer Ruhelage oszilliert,  
mit einer elektromechanischen Erregeranordnung (16) zum Erzeugen räumlicher Auslenkungen des Meßrohrs (13) und  
mit einer auf laterale Auslenkungen des Meßrohrs reagierenden Sensoranordnung (60) zum Erfassen einer einlaßseitigen und einer auslaßseitigen Auslenkung des Meßrohrs (13), sowie  
eine Meßgeräte-Elektronik  
mit einer Erregerschaltung (50A), die einen die Erregeranordnung (16) speisenden Erregerstrom ( $i_{exc}$ ) erzeugt, und  
mit einer Auswerteschaltung (50B),  
wobei das Vibrations-Meßgerät im Betrieb einen eine Dichte des Fluids repräsentierenden Dichte-Meßwert ( $X_{\rho}$ ) und einen die Erregerfrequenz ( $f_{exc}$ ) repräsentierenden Erregerfrequenz-Meßwert ( $X_f$ ) liefert,  
welches Verfahren folgende Schritte umfaßt:  
– Erzeugen von Schwingungen des Meßrohrs (16) mit der Erregerfrequenz ( $f_{exc}$ ) zum Erzeugen viskoser Reibung im Fluid.  
– Erfassen eines die Erregeranordnung (16) durchfließenden Erregerstroms ( $i_{exc}$ ) zum Erzeugen eines die viskose Reibung repräsentierenden Reibungsmeßwert ( $X_{\Delta i}$ ).  
– Erfassen einer einlaßseitigen und/oder einer auslaßseitigen Auslenkung des Meßrohrs (13) zum Erzeugen eines Geschwindigkeitsmeßwertes ( $X_{\theta}$ ), der eine Geschwindigkeit einer die viskose Reibung bewirkenden Bewegung des Fluids repräsentiert.  
– Dividieren des Reibungsmeßwertes ( $X_{\Delta i}$ ) durch den zweiten Meßwert zum Erzeugen eines eine von der viskosen Reibung bewirkte Dämpfung des oszillierenden Meßrohrs repräsentierenden Quotientenwertes ( $X_{\Delta i}/X_{\theta}$ ).  
– Erzeugen eines von einer Dichte des Fluids und von der Erregerfrequenz ( $f_{exc}$ ) abhängigen Korrekturwertes ( $X_{\rho, f}$ ) mittels des Dichte-Meßwertes ( $X_{\rho}$ ) und mittels des Erregerfrequenz-Meßwertes ( $X_f$ ) und  
– Dividieren des Quotientenwertes ( $X_{\Delta i}/X_{\theta}$ ) durch den Korrekturwert ( $X_{\rho, f}$ ) zum Erzeugen eines die Viskosität repräsentierenden Viskositäts-Meßwertes ( $X_{\eta}$ ).

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

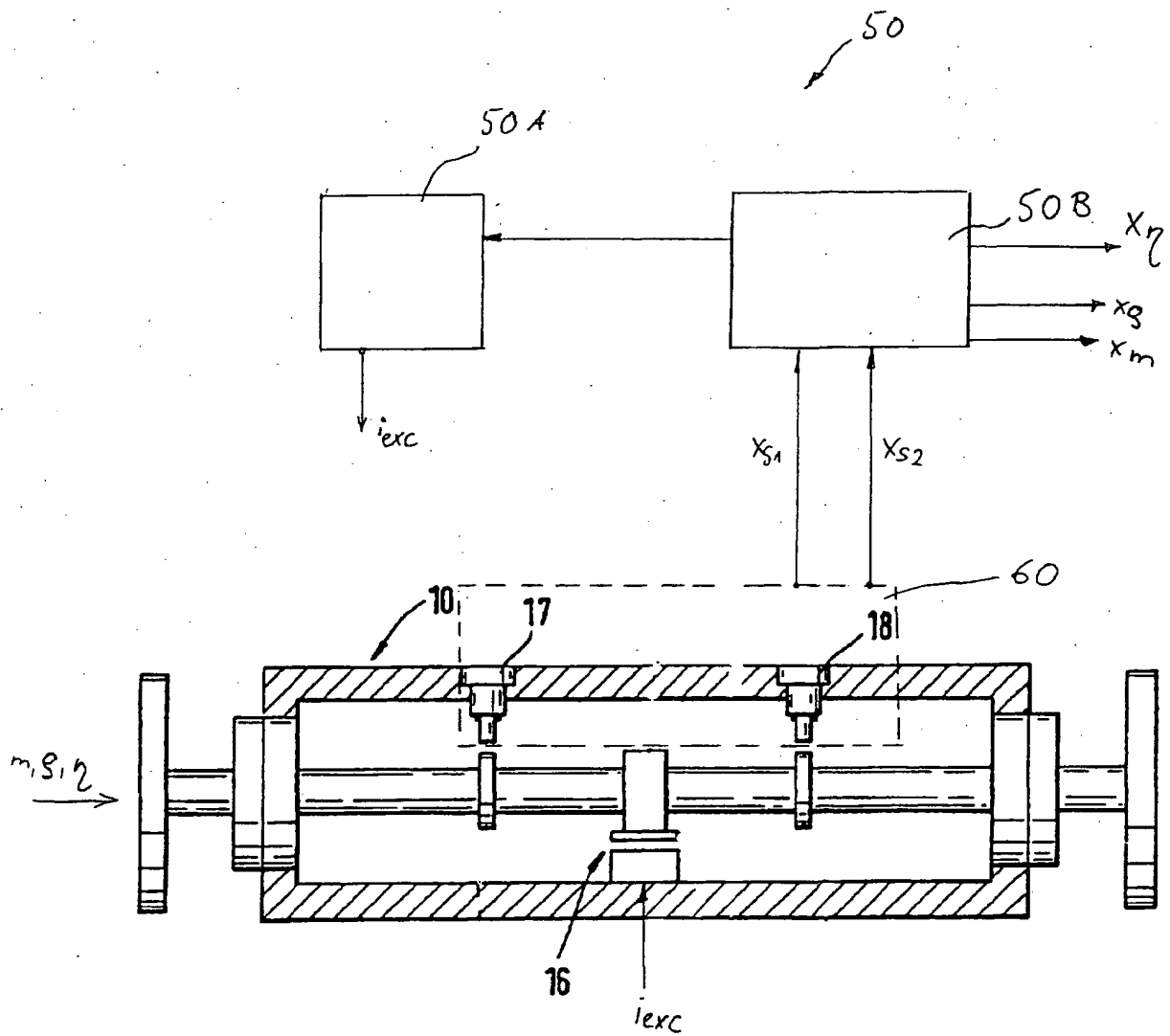
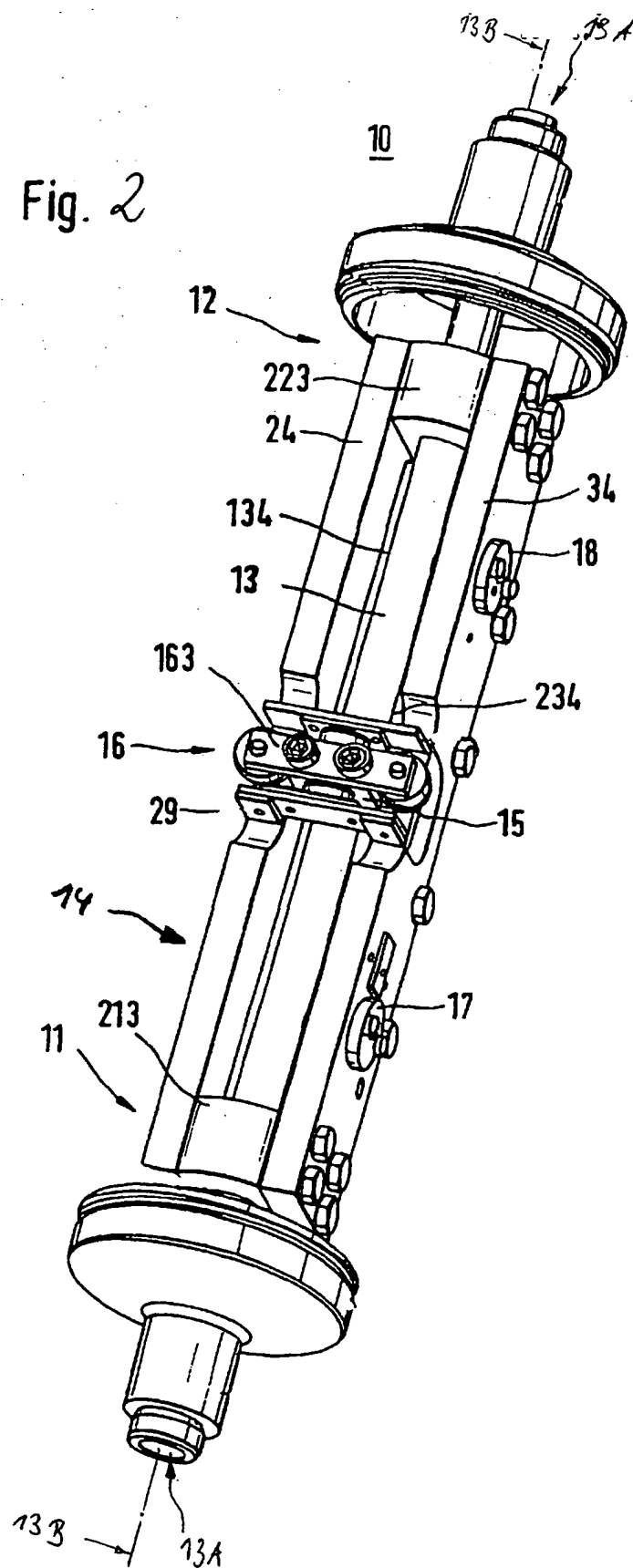


Fig. 1

Fig. 2



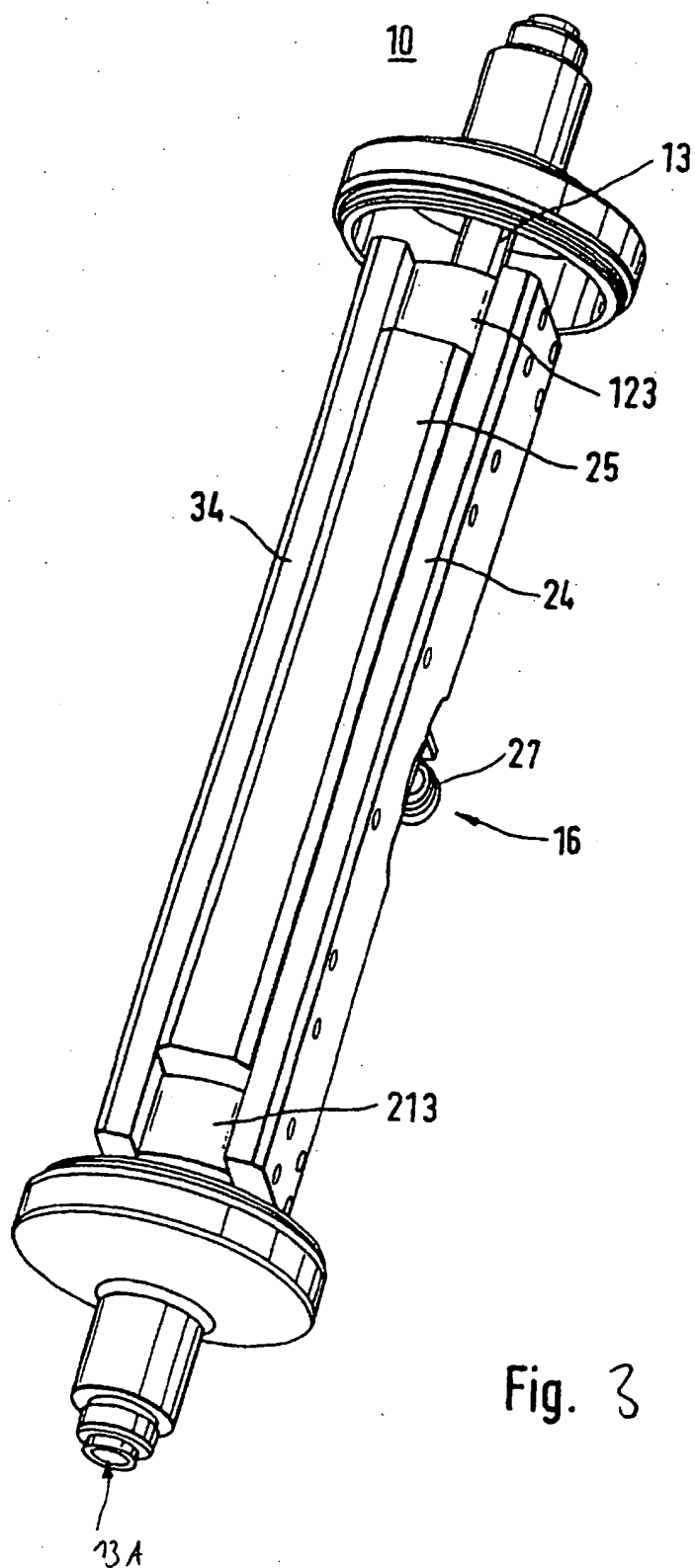


Fig. 3

Fig. 4

